

Ⅲ-627

3連シールドトンネルの土圧評価に関する遠心模型実験

鹿島 技術研究所 正会員 杉原 靖彦 五十嵐寛昌 藤崎 勝利

1. はじめに

横3連シールドトンネルは従来の単円形シールドトンネルに比較して横方向に扁平な形状をしており、主として円形断面を対象とした従来の土圧評価法の妥当性について検証する必要がある。そこで、筆者らは、遠心模型実験装置を用いた模型実験を行い、シールド掘進時の作用土圧と周辺地盤変状を測定し、その結果と従来の土圧評価法（全土圧、テルツァーギのゆるみ土圧）など^{1) 2) 3)}を比較検討したので報告する。

2. 実験概要

実験システムを図-1に示す。図に示すように、シールドトンネルをマシン部（外筒）とセグメント部（内筒、幅114mm：1 G場換算15.96 m、高さ48mm：1 G場換算6.72 m）でモデル化し、外筒を土槽奥行き方向後方に引き抜くことによりシールド掘進時に生じるテールボイド（厚さ3mm：1 G場換算42cm）の発生をシミュレートしている。実験中には、ひずみゲージ式全土圧計によりセグメント部に作用する土圧を、非接触式変位計により地表面沈下を、また土槽前面の亚克力板と試料との間に設置した、格子模様入りメンブレンを遠心場での回転中に写真撮影することによって地盤の変形を測定した。

地盤材料は豊浦標準砂を用い、トンネル模型を設置した後土槽の背面が下になるように横倒しにした状態で、試料をトンネル奥行き方向に自由落下法により堆積させ、その後土槽を立ててから脱気水で地盤を飽和することにより、模型地盤を作製した。実験条件は表-1に示すとおりであり、主として土被り比(H/D ； H ：土被り高さ、 D ：トンネル横幅)をパラメータとして実験を行った。ここでは、このうち $H/D = 1.85$ の結果について報告する。

3. 地盤変形

テールボイド発生により生じた等鉛直変位図の一例を図-2に示す。この図から沈下量が100%（＝テールボイド厚さ3mm）以上の領域（以下、一次領域と呼ぶ）は、トンネルのクラウンを底辺とした三角形に近い形状をして閉じており、この高さは109mmである。テルツァーギのゆるみ高さの算定式を横方向の長円形に拡大適用して¹⁾ゆるみ高さを求めると

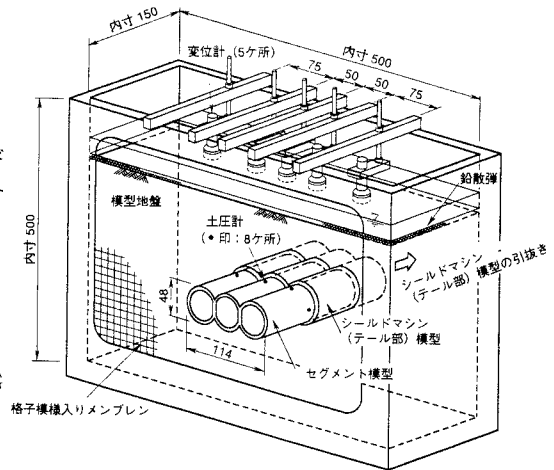


図-1 実験システム

表-1 実験条件

項 目	CASE1	CASE2
遠 心 加 速 度 (G)	140	140
土 被 り (c m)	19.6	25.3
土 被 り 比	1.85	2.35
水 中 重 量 (g f / c m ³)	0.942	0.942
相 対 密 度 (%)	63	63
引 抜 き 速 度 (m m / m i n)	30	30

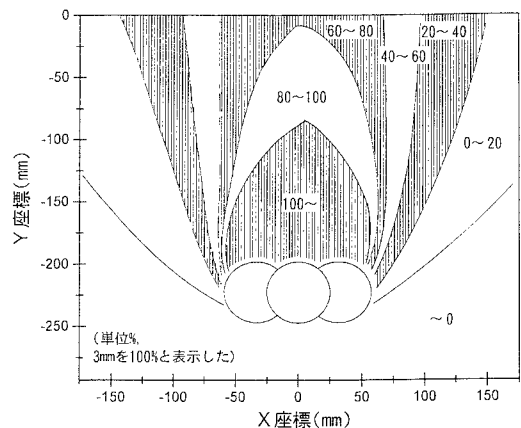


図-2 等鉛直変位図

129mmになり、遠心実験の一次領域の高さの方が若干低い。沈下量が60%の領域は地表まで達しており、中心線上での地表沈下量は2.3mmとなっている。さらに、等変位線はトンネル側方部で間隔が狭くなっており、扇形状に分布しているが、写真や実験終了後の目視観察でもすべり線は見られなかった。また、トンネルインバート部においては0.5mm程度隆起しており、これは応力解放による弾性変形と考えられる。次に等水平変位図の一例を図-3に示す。テールボイド発生により生じる水平変位量の最大は、トンネル横付近の1.1mmであり、鉛直変位量に比べると小さい。地表付近では一様にトンネル中心方向への変位が見られるが、トンネル近傍直上では、トンネル

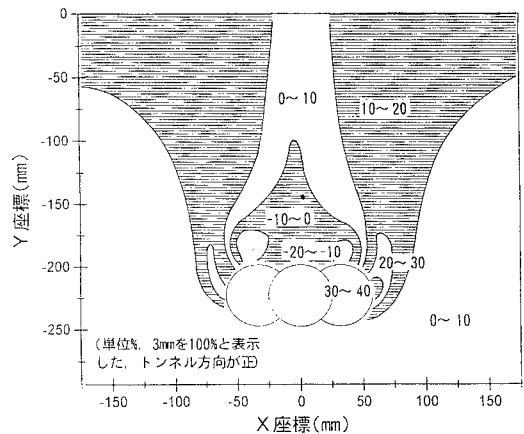


図-3 等水平変位図

端部方向への変位が見られる。このことから、テールボイドの発生に伴って、トンネル直上の地盤が鉛直下方へ変位するとともに、若干、端部への回り込みが生じたものと思われる。

4. 作用土圧

テールボイド発生直後のトンネル模型に作用する有効応力表示の土圧(以下、有効土圧と呼ぶ)の分布を図-4に、有効土被り圧、テルツァーギのゆるみ土圧(有効応力表示)と併せて示す。この図から、クラウン部に作用する有効土圧 1.83kgf/cm^2 は有効土被り圧の約7割程度であり、地盤中のアーチング現象などにより、有効土被り圧より小さくなっている。この値は、テルツァーギのゆるみ土圧 1.21kgf/cm^2 に比べかなり大きな値となっているが、これは楕円断面のモデルによる遠心実験¹⁾と同様な傾向である。また、村山らの研究²⁾を参考にして、図-2の一次領域の土の重量がトンネルに作用すると仮定して計算した有効土圧 0.98kgf/cm^2 に比べてもかなり大きい。これらの相違は、引抜きモデルは平面ひずみモデルではないこと、変形の発生メカニズムが異なることなどによるものと考えられる。

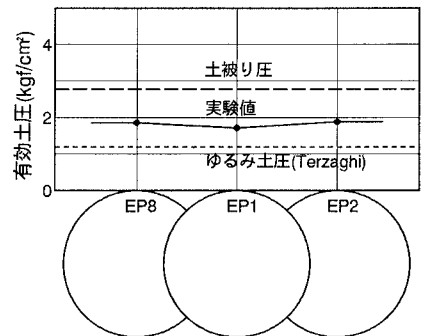


図-4 有効土圧分布

実際の現象としてはカバー引抜きモデルの方が実施工に近いと考えられるので、テルツァーギのゆるみ土圧(全土圧)と全土被り圧との間の全土圧がトンネルに作用するものと考えられる。

5. まとめ

今回遠心模型実験装置を用いて3連シールドに作用する土圧を評価した結果、テルツァーギによるゆるみ土圧より大きく全土被り圧より小さな全土圧が作用することがわかった。今後は、この実験結果を表現できるようなFEMなどの数値解析モデルを開発するとともに、裏込注入工の効果についても検討を進めていく予定であり、新しい数値解析モデルにより、複雑な土層条件をもつ実施工への適用を考えている。

参考文献

- 1) 建設省総プロ、地下空間の利用技術の開発報告書、第3分冊、1992年8月
- 2) 村山朔郎・松岡 元：砂質土中のトンネル土圧に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第187号、1971、pp. 95~108.
- 3) 櫻井春輔・川嶋幾夫・川端康祝・皿海章雄：土被りの浅いトンネルの力学的挙動に関するモデル実験、土木学会論文集、No. 487/Ⅲ-26、1994、pp. 271~274.